

**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Application No. : N/A Confirmation No. : N/A  
Applicant : RAINER AUTENRIETH  
Filed : DECEMBER 15, 2003  
TC/A.U. : N/A  
Examiner : N/A  
Docket No. : 038743.52928US  
Customer No. : 23911  
Title : METHOD FOR CONTROLLING FUEL SUPPLY TO A FUEL  
CELL SYSTEM

**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. §119**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

December 15, 2003

Sir:

The benefit of the filing date of prior foreign application No. German patent document 102 58 496.6, filed in Germany on 14 December 2002, is hereby requested and the right of priority under 35 U.S.C. §119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of the original foreign application.

Respectfully submitted,



Gary R. Edwards  
Registration No. 31,824

CROWELL & MORING LLP  
Intellectual Property Group  
P.O. Box 14300  
Washington, DC 20044-4300  
Telephone No.: (202) 624-2500  
Facsimile No.: (202) 628-8844  
GRE:kms



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 58 496.6

**Anmeldetag:** 14. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Regelung der Brennstoffzufuhr zu  
einem Brennstoffzellensystem

**IPC:** H 01 M 8/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. Oktober 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Schoiz

DaimlerChrysler AG

Senft

12.12.2002

Verfahren zur Regelung der Brennstoffzufuhr  
zu einem Brennstoffzellensystem

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Brennstoffzufuhr zu einem Brennstoffzellensystem, nach der im Oberbegriff von Anspruch 1 näher definierten Art. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Verwendung des oben genannten Verfahrens.

10

Ein gattungsgemäßes Brennstoffzellensystem wird durch die DE 100 56 429 A1 beschrieben. Bei diesen Brennstoffzellensystemen erfolgt die Entnahme von elektrischer Leistung aus der Brennstoffzelle jeweils getaktet, wobei durch die Taktung auf  
15 das Vorhandensein bzw. Fehlen von Brennstoff in der Brennstoffzelle, insbesondere in deren Anodenbereich, im Bezug auf die jeweils von der Brennstoffzelle geforderte Leitung reagiert wird. Als Kenngröße für das Angebot an Brennstoff in der Brennstoffzelle kann beispielsweise der Druck im Bereich  
20 der Brennstoffzelle bzw. im Anodenbereich der Brennstoffzelle genutzt werden.

Aus der DE 197 32 117 A1 ist ein Energieversorgungssystem bekannt, welches einen Brennstoffzellenstapel und eine Batterie  
25 umfasst. Die Zufuhr der erforderlichen Gasmengen an die Brennstoffzelle erfolgt dabei über eine Steuerungs- bzw. Regelungselektronik. Diese muss zum Ermitteln der erforderlichen Gasmengen ein Vielzahl von Daten zahlreicher Sensoren bzw. Einrichtungen auswerten. Als Beispiel seien hier lediglich  
30 einige der Sensoren, wie z.B. eine Erfassungseinrichtung

der Restladung der Batterie, eine Brennstoffmengenzufuhr-Erfassungseinrichtung, eine Belastungsgrößen-Erfassungseinrichtung, Ladezustands-Schätzeinrichtung und dergleichen, genannt.

5

In dieser Vielzahl von Sensoren ist sicherlich ein Nachteil zu sehen. So verursachen die Sensoren einen großen Kostenaufwand und benötigen einen entsprechenden Bauraum. Neben der in der Vielzahl der Daten begründeten Komplexität der Regelung/Steuerung bzw. Abschätzung ist auch die Erfassung jedes einzelnen Wertes mit Fehlern behaftet. Diese Fehler summieren sich in der Anlage auf, welche dadurch sehr anfällig gegenüber Störungen wird. Einige der Sensoren, z.B. die Brennstoffmengenzufuhr-Erfassungseinrichtung, sind darüber hinaus in ihrem Aufbau bzw. ihrer Funktionsweise entsprechende komplex und aufwändig sowie dadurch letztendlich auch sehr teuer. Derartige Sensoren neigen außerdem eher als einfache Sensoren zu Fehlfunktionen. Sie vergrößern dadurch zusätzlich die Störanfälligkeit und die Regelungsungenauigkeit des Gesamtsystems.

20

Aufgrund der Vielzahl an Sensoren ist ausserdem eine recht aufwändige Berechnung notwendig, um aus den Messwerten den tatsächlichen Bedarf an Brennstoff zu ermitteln. Neben dem Nachteil, dass diese Berechnung Kapazität und Rechenleistung in einer Steuerungselektronik benötigt, besteht ausserdem das Risiko der Ungenauigkeit der Berechnung. Des weiteren können in nachteiliger Weise Fälle auftreten, welche von dem Berechnungsverfahren nicht abgedeckt sind.

25  
30

Es ist daher die Aufgabe der oben genannten Erfindung ein Verfahren zur Regelung der Brennstoffzufuhr zu einem Brennstoffzellensystem, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zu schaffen, welches, mit einem minimalen Aufwand hinsichtlich der Komplexität und Anzahl der benötigten Sensoren, robust und zuverlässig die Regelung der Menge an zugeführtem Brennstoff erlaubt.

35

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 genannten Merkmale gelöst.

- 5     Damit wird also die Brennstoffmenge so geregelt, das sich für das Pausen- zu Einschaltverhältnis ausgehend von dem zu jeweiligen Zeitpunkt aktuell vorliegenden Istwert wieder ein vorgegebener Sollwert einstellt.
- 10    Prinzipiell wird dabei immer versucht, das Brennstoffzellensystem mit einem vorgegebenen Pausen- zu Einschaltverhältnis, als beispielhafter Wert sei hier 5%/95% genannt, zu betreiben. Ändert sich nun die Leistungsanforderung an die Brennstoffzelle, so kommt es zu einem Brennstoffdefizit, welches,
- 15    wie durch die DE 100 56 429 A1 beschreiben, zu einer Steigerung des Pausen- zu Einschaltverhältnisses, z.B. auf 7%/93%, führt. Diese Steigerung dient nun als "Anlass" die Menge an zugeführtem Brennstoff zu erhöhen, und zwar in der Art, dass die Menge so geregelt wird, dass sich der Istwert des Pausen-
- 20    zu Einschaltverhältnisses wieder dem Sollwert annähert. Bei einer Verminderung der Leistungsanforderung erfolgt die Regelung analog, jedoch in reziproker Richtung, also Verbunden mit einer Erniedrigung des Pausen- zu Einschaltverhältnisses, z.B. auf 3%/97%, und einer Erniedrigung der Brennstoffmenge,
- 25    bis das vorgegebene Pausen- zu Einschaltverhältnis wieder erreicht ist.

- Das Pausen- zu Einschaltverhältnis stellt dabei eine Größe dar, welche sich bei gattungsgemäßen Brennstoffzellensystemen
- 30    zwangsläufig ergibt, da sie letztendlich die Leistungsregelung darstellt. Diese Größe kann nun erfindungsgemäß dazu verwendet werden, die Menge an Brennstoff zu variieren. Das erfindungsgemäße Verfahren hierzu in besonders vorteilhafter Weise auf diese vorhandene und darüber hinaus sehr einfach
- 35    und zuverlässig ermittelbare Größe zurück, um die Menge an Brennstoff zu beeinflussen. Insbesondere kann dabei auf aufwändige und daher prinzipbedingt immer mit einem Risiko von

Fehlfunktionen behaftete Berechnungsverfahren von Brennstoffmengen aus zahlreichen Sensordaten etc. verzichtet werden.

5 Neben der Einsparung von Sensorik, Rechenaufwand und -kapazität erlaubt es das erfindungsgemäße Verfahren ausserdem, alle denkbaren Zustände bei der Belastung der Brennstoffzelle zu berücksichtigen, was bei Verfahren gemäß den Stand der Technik fast nicht, oder nur mit erheblichem Aufwand möglich war. Insbesondere bedeutet dies, das die aufwändige Entwicklung bei der Implementierung eines Regelmechanismus entfallen kann, da das Pausen- und Einschaltverhältnis sich direkt aus den Eigenschaften der Brennstoffzelle selbst ergibt.

15 Gemäß einer besonders günstigen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Menge an zugeführtem Brennstoff so gewählt, dass die der Brennstoffzelle angebotene Menge an Brennstoff oder an aus dem Brennstoff erzeugtem wasserstoffhaltigem Gas immer kleiner ist, als die Menge an Brennstoff oder an aus dem Brennstoff erzeugtem wasserstoffhaltigem Gas, welche von der Brennstoffzelle umgesetzt werden kann.

25 Dadurch, dass bei dieser Ausgestaltungsvariante des Verfahrens immer weniger Brennstoff angeboten wird, als die Brennstoffzelle umsetzen kann, kann das Entstehen eines Brennstoffüberschusses, wie dies bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik häufig der Fall ist, vermieden werden. Es wird dadurch Möglich auf sogenannte Purge-Vorgänge zu verzichten, bei welchen überschüssiger Brennstoff aus dem Bereich der Brennstoffzelle abgeblasen wird. Die mit einem solchen Abblasen von Brennstoff immer verbundenen Energieverluste, welche letztendlich eine Verschlechterung des Wirkungsgrads des Brennstoffzellensystems bewirken, werden so vermieden.

35 Grundsätzlich ist das erfindungsgemäße Verfahren mit jeder Form eines Brennstoffzellensystems sinnvoll einsetzbar. Es spielt dabei keine Rolle, ob das Brennstoffzellensystem als

stationäres oder mobiles Brennstoffzellensystem betrieben wird, und ob dieses unmittelbar mit dem Brennstoff oder mit einem in einer Gaserzeugungseinrichtung aus dem Brennstoff erzeugten wasserstoffhaltigen Gas betrieben wird. Es ist jedoch besonders vorteilhaft, ein derartiges System in einem mobilen Brennstoffzellensystem mit einem Gaserzeugungssystem, insbesondere in einem Kraftfahrzeug, zu verwenden.

Derartige Systeme, welche in Kraftfahrzeugen oder andersartigen Fahrzeugen zu Wasser, zu Lande oder in der Luft eingesetzt werden, können dabei der Bordstromversorgung eines solchen Fahrzeugs dienen. Sie werden dann im allgemeinen als Hilfsenergieerzeuger oder APU (Auxiliary Power Unit) bezeichnet. In diesen Systemen, jedoch auch in Brennstoffzellensystemen, welche für den Antrieb des mobilen Systems ausgelegt sind, kann das erfindungsgemäße Verfahren besonders günstig verwendet werden. Der besondere Vorteil bei derartigen Systemen in mobilen Einrichtungen liegt dabei darin, dass hier sehr häufig hochdynamische Anforderungen an die von der Brennstoffzelle, welche üblicherweise als ein Stapel von mehreren Brennstoffzellen, einem sogenannten Brennstoffzellenstack, besteht, bereitzustellende Leistung geknüpft sind. Das erfindungsgemäße Verfahren bietet dabei die Möglichkeit, in besonders vorteilhafter Weise durch eine einfache, effiziente und sichere Regelung der Menge an zuzuführendem Brennstoff schnell auf diese dynamischen Leistungsanforderungen an die Brennstoffzelle zu reagieren.

Weitere besonders günstige Ausgestaltungsvarianten der Erfindung ergeben sich aus den restlichen Unteransprüchen und werden anhand des Ausführungsbeispiels, welches nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren eingehend erläutert wird, deutlich.

Dabei zeigen:

Fig. 1 ein Prinzipschaltbild eines Brennstoffzellensystems unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 die Strom-Spannungs-Kennlinie einer Brennstoffzelle und des die Brennstoffzelle belastenden Verbrauchers;  
5 und

Fig. 3 einen beispielhaften zeitlichen Verlauf der für das erfindungsgemäße Verfahren relevanten Größen.

10 In Fig. 1 ist ein Brennstoffzellensystems 1 prinzipmäßig dargestellt. Neben einer Brennstoffzelle 2, welche z.B. als Brennstoffzellenstack mit Membranelektrolyten (PEM) ausgebildet sein kann, und einem die Brennstoffzelle 2 als elektrischer Verbraucher 3 belastenden Stromnetz, weist das hier dargestellte Brennstoffzellensystem 1 außerdem ein Gaserzeugungssystem 4 auf. In diesem Gaserzeugungssystem 4 wird in an  
15 sich bekannter Weise aus Kohlenstoff und Wasserstoff aufweisenden Einsatzstoffen, z.B. Alkohole, Kohlenwasserstoffe, wie Benzin, Diesel, oder dergleichen, ein wasserstoffreiches Gas erzeugt, z.B. durch Reformierung und anschließende Reinigung  
20 des Reformats.

Für die Funktionsweise des nachfolgend erläuterten Verfahrens ist dieser Aufbau des Brennstoffzellensystems 1 mit dem Gaserzeugungssystem 4 jedoch nicht zwingend erforderlich. An  
25 stelle des Gaserzeugungssystems 4 könnte auch ein Zwischenspeicher für den der Brennstoffzelle 2 zugeführten Brennstoff, beispielsweise Wasserstoff, oder im Falle einer Direkt-Methanol-Brennstoffzelle auch ein Wasser-Methanol-Gemisch angeordnet sein.

30 Die Brennstoffzufuhr 5, egal ob sie, wie hier dargestellt, zu dem Gaserzeugungssystem 4 oder zu der Brennstoffzelle 2 bzw. einem Zwischenspeicher erfolgt, muss hinsichtlich der zugeführten Menge an Brennstoff so beeinflusst werden, dass die  
35 Brennstoffzelle 2 ausreichend Brennstoff bzw. in dem Gaser-



zeugungssystem 4 daraus erzeugten Wasserstoff zugeführt bekommen kann.

Entsprechend den Eingangs gemachten Ausführungen wird die von  
5 der Brennstoffzelle 2 zu dem Verbraucher 3 gelangende elektrische Leistung durch Ein- und Ausschalten einer elektrischen Verbindung 6 zwischen der Brennstoffzelle 2 und dem Verbraucher 3 mittels eines Schalters 7 getaktet. Der Schalter 7 ist dabei in seinem Grundprinzip, ebenso wie die mit ihm verbundene Leistungsregelung, aus der eingangs bereits genannten  
10 Schrift DE 100 56 429 A1 bekannt. Der Schalter 7 wird dabei insbesondere als elektronischer Schalter, z.B. als MOSFET oder dergleichen, ausgebildet sein. Die Regelung der Leistung, welche zwischen der Brennstoffzelle 2 und dem elektrischen Verbraucher 3 fließt, wird entsprechend dem in der oben genannten Schrift erläuterten Verfahren in Abhängigkeit des zum Zeitpunkt der Leistungsanforderung jeweils aktuell unmittelbar an der Brennstoffzelle 2 bzw. ihrem Anodenbereich vorliegenden bzw. verfügbaren Brennstoffs durchgeführt. Dabei  
15 kann sowohl von der Brennstoffzelle 2 allein, als auch von der Brennstoffzelle 2 in Kombination mit einer Energiespeichereinrichtung, wie z.B. einer Batterie, einem Supercap oder Kombinationen hiervon, ausgegangen werden.

Des weiteren ist in dem Brennstoffzellensystem der Fig. 1 ein  
25 Verfahren zur Beeinflussung der Brennstoffzufuhr 5 implementiert, wie es nachfolgend noch ausführlich erläutert werden wird. Dieses Verfahren ist in Fig. 1 durch eine das Pausen- zu Einschaltverhältnis (P/E) des Schalters 7 symbolisierende  
30 Box 8a sowie eine von diesem Pausen- zu Einschaltverhältnis P/E ausgehende gestrichelt dargestellte Rückkopplung 8b auf die Brennstoffzufuhr 5 symbolisch angedeutet.

In Fig. 2 ist nun in einem Strom(I)-Spannungs(U)-Diagramm eine  
35 Kennlinie 9 der Brennstoffzelle 2 zusammen mit einer Kennlinie 10 des elektrischen Verbrauchers 3 dargestellt. Die Kennlinie 9 der Brennstoffzelle 2 unterteilt sich in zwei

verschiedene Bereiche, wobei in dem ersten mit 11 bezeichneten Abschnitt die Kennlinie der Brennstoffzelle 2 bei stationär begrenzter Versorgung mit Brennstoff dargestellt ist. Der gestrichelte Bereich der Kennlinie 9 im Abschnitt 12 würde  
5 die prinzipiell auftretende Kennlinie 9 bei höherer Versorgung mit Brennstoff darstellen. In diesem Bereich der Kennlinie 9 ergibt sich außerdem der Betriebspunkt 13 als Schnittpunkt zwischen den Kennlinien 9 und 10. Der gestrichelte Bereich der Kennlinie 9 im Abschnitt 12 zwischen dem Betriebspunkt 13 und dem Abschnitt 11 der Kennlinie 9 der Brennstoffzelle 2 symbolisiert den Betriebszustand, in welchem die Brennstoffzelle durch ein Öffnen des Schalters 7 von dem Verbraucher 3 getrennt ist, also den Zustand, welcher als Pause (P) bei dem getakteten Schalten der Verbindung 6 zwischen Brennstoffzelle 2 und Verbraucher 3 bezeichnet wird.  
10 Der oben bereits beschriebene Abschnitt 11 beschreibt dagegen den geschlossenen Zustand des Schalters 7, also den Einschaltzustand (E) der Brennstoffzelle 2, aus Sicht des elektrischen Verbrauchers 3.

20

Der Schnittpunkt der Kennlinie 9 mit der Spannungsachse U liefert den Punkt 14, welcher den ausgeschalteten Zustand der Brennstoffzelle 2 symbolisiert. Im Betrieb der Brennstoffzelle 2 wird diese jeweils zwischen diesem Punkt 14, in welchem  
25 die Brennstoffzelle 2 ausgeschaltet ist, und dem Betriebspunkt 13, der sich nach dem Einschalten der Brennstoffzelle 2 einstellen wird bzw. würde, hin- und hergeschaltet. Im zeitlichen Mittel wird dabei ein Strom bereitgestellt und kann von dem Verbraucher 3 verbraucht werden, welcher in etwa dem  
30 mit dem Bezugszeichen 15 bezeichneten Bereich auf der Stromachse I in dem Strom-Spannungs-Diagramm entspricht. Der Abschnitt 12, welcher zwischen diesem Bereich 15 und dem Betriebspunkt 13 liegt, gibt praktisch den fehlenden Strom und damit letztendlich auch die Menge an fehlendem Brennstoff in  
35 dem Brennstoffzellensystem 1 an. Dieser fehlende Strom im Verhältnis zum im Mittel erzeugten elektrischen Strom spiegeln sich dabei auch in dem Pausen- bzw. zu Einschaltverhält-

nis (P/E) des Schalters 7 bzw. der Brennstoffzelle 2 wieder. Er kann damit in idealer Weise verwendet werden, um die Brennstoffzufuhr 5 zu regeln.

5 Diese Regelung der Brennstoffzufuhr 5, welche im Bereich der Fig. 1 bereits symbolisch dargestellt wurde, wird nachfolgend anhand der beispielhaften Darstellungen der Fig. 3 näher erläutert. In Fig. 3 sind verschiedene für das Verfahren relevante Größen über der Zeit  $t$  aufgetragen.

10

In einem ersten Diagramm ist dabei ein zeitlicher Verlauf 16 eines von dem Verbraucher 3 vorgegebenen Leistungsbedarfs bzw. einer Leistungsanforderung  $P_{e1}$  zu erkennen. Das darunter angeordnete Diagramm zeigt bei analog verlaufenden Zeitachse  $t$  einen zeitlichen Verlauf 17 des Pausen- zu Einschaltverhältnisses (P/E) der Verbindung 6 zwischen der Brennstoffzelle 2 und dem Verbraucher 3, während in dem dritten dargestellten Diagramm ein analoger zeitlicher Verlauf 18 der Menge  $Q$  an im Bereich der Brennstoffzufuhr 5 dosiertem Brennstoff dargestellt ist.

15

20

Zum Zeitpunkt  $t_1$  kommt es zu einer Erhöhung der aktuellen Leistungsanforderung  $P_{e1}$ . Prinzipbedingt wird damit schlagartig im Bereich der Brennstoffzelle 2 zusätzlicher Brennstoff, z.B. Wasserstoff, benötigt. Da zu diesem Zeitpunkt jedoch weiterhin die selbe Wasserstoffmenge wie zuvor produziert wird, kann auf den erhöhten Leistungsbedarf aufgrund des mangelnden Wasserstoffs nur reagiert werden, indem die Brennstoffzelle häufiger ein- und ausgeschaltet wird, sich das Pausen- zu Einschaltverhältnis (P/E) der Brennstoffzelle 2 also erhöht. Die damit verbundenen Vorgänge sind in der oben bereits genannten DE 100 56 429 A1 eingehend beschrieben.

25

30

Diese sich in einem gattungsgemäßen Brennstoffzellensystem 1 also zwangsläufig, aufgrund des fehlenden Brennstoffs bzw. Wasserstoffs im Bereich der Brennstoffzelle 2 zum Zeitpunkt  $t_1$  der gestiegenen Leistungsanforderung  $P_{e1}$ , ergebende Ände-

35

rung des Pausen- zu Einschaltverhältnisses ( $P/E$ ) dient nun als Grundlage für das hier beschriebene Verfahren zur Regelung der Brennstoffzufuhr 5.

5 Dabei wird die Menge  $Q$  an Brennstoff im Bereich der Brennstoffzufuhr 5 in Abhängigkeit des Pausen- zu Einschaltverhältnisses ( $P/E$ ) der getakteten Verbindung 6 der Brennstoffzelle 2 mit dem Verbraucher 3 so geregelt, dass sich ausgehend von einem jeweils aktuell vorliegenden Istwert  $(P/E)_{ist}$   
10 des Pausen- zu Einschaltverhältnisses ( $P/E$ ) - entsprechend der jeweiligen Zeitpunkte durch den Verlauf 17 dargestellt - wieder ein vorgegebener Sollwert  $((P/E)_{soll})$  des Pausen- zu Einschaltverhältnisses ( $P/E$ ) einstellt.

15 Das Brennstoffzellensystem 1 wird dabei nach Möglichkeit immer mit einem vorgegebenen Pausen- zu Einschaltverhältnis  $P/E$ , welches gleichzeitig den Sollwert  $(P/E)_{soll}$  des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $P/E$  entspricht betrieben, als beispielhafter Wert kann hier z.B.  $P/E=5\%/95\%$  genannt werden.  
20 Ändert sich nun, wie in Fig. 3 zum Zeitpunkt  $t_1$ , die Leistungsanforderung  $P_{e1}$  an die Brennstoffzelle 2, so kommt es zu einem Brennstoffdefizit, welches, wie oben beschreiben bei einem gattungsgemäßen Brennstoffzellensystem 1 zwangsläufig zu einer Steigerung des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $P/E$ ,  
25 z.B. auf  $10\%/90\%$ , führt. Das Pausen- zu Einschaltverhältnis  $P/E$  weist nun die im Verlauf 17 dargestellten Istwerte  $(P/E)_{ist}$  auf, welche zum Zeitpunkt  $t_1$  und zu den unmittelbar folgenden Zeiträumen von dem vorgegebenen Sollwert  $(P/E)_{soll}$  abweichen.

30

Auf die von dem Sollwert  $(P/E)_{soll}$  abweichenden aktuellen Istwerte  $(P/E)_{ist}$  des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $P/E$  wird nun entsprechend des hier beschriebenen Verfahrens mit einer Veränderung, im hier dargestellten Falle zum Zeitpunkt  $t_1$  und  
35 unmittelbar Folgende, mit einer Erhöhung, der Menge  $Q$  an dosiertem Brennstoff im Bereich der Brennstoffzufuhr 5 reagiert, wie es im Verlauf 18 der Menge  $Q$  über der Zeit  $t$  er-

- kennbar ist. Mit steigender bereitgestellter Menge  $Q$  an Brennstoff im Bereich der Brennstoffzufuhr 5 wird sich, mit kurzer zeitlicher Verzögerung, auch die Menge an Brennstoff bzw. Wasserstoff im Bereich der Brennstoffzelle 2 erhöhen.
- 5 Entsprechend der bereits oben erläuterten Zusammenhänge bewirkt dies ein Sinken des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $P/E$ , so dass sich der Istwert  $(P/E)_{\text{ist}}$  des Pausen- zu Einschaltverhältnisses dem Sollwert  $(P/E)_{\text{soll}}$  annähert. Dabei wird die Veränderung, hier also die Erhöhung, der Menge  $Q$  an
- 10 Brennstoff im Bereich der Brennstoffzufuhr 5 in der Art geregelt, dass sich der Istwert  $(P/E)_{\text{ist}}$  des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $P/E$ , insbesondere möglichst schnell und ohne überzuschwingen, wieder auf den Sollwert  $(P/E)_{\text{soll}}$  einstellt.
- 15 Bei einer Verminderung der Leistungsanforderung  $P_{e1}$  erfolgt die Regelung analog, jedoch in reziproker Richtung, also Verbunden mit einer Erniedrigung des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $P/E$ , z.B. auf 4%/96%, und einer Erniedrigung der Brennstoffmenge  $Q$ , bis das vorgegebene Pausen- zu Einschalt-
- 20 verhältnis, also der Sollwert  $(P/E)_{\text{soll}}$ , wieder erreicht ist. Ein entsprechender Ablauf ist in Fig. 3 ab dem Zeitpunkt  $t_2$  exemplarisch dargestellt. Übliche Werte für die Istwerte  $(P/E)_{\text{ist}}$  hängen dabei von dem eingesetzten Brennstoffzellensystem 1 selbst, insbesondere vom eventuellen Vorhandensein
- 25 eines Energiespeichers elektrisch parallel zur Brennstoffzelle 2, ab. Üblicherweise werden die Istwerte  $(P/E)_{\text{ist}}$  jedoch Werte des Pausen- zu Einschaltverhältnisses von ca. 30%/70% selten überschreiten.
- 30 Zur Regelung der Menge  $Q$  an Brennstoff im Bereich der Brennstoffzufuhr 5 auf den Sollwert  $(P/E)_{\text{soll}}$  der Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $P/E$  kann in besonders günstiger Weise eine übliche und gebräuchliche PID-Regelung, realisiert werden. Bei der Entstehung der Erfindung hat sich dem Erfinder in
- 35 zahlreichen Versuchen jedoch gezeigt, dass mit der PID-Regelung ein vergleichsweise großes Aufschwingen des Systems

auftreten kann, und dass die PID-Regelung vergleichsweise viel Speicher- und Rechenkapazität benötigt.

5 Gemäß einer Weiterbildung kann die Veränderung der Menge  $Q$  an  
zugeführtem Brennstoff daher auch so erfolgen, dass sich eine  
neue Brennstoffmenge  $Q_{\text{neu}}$  aus dem Produkt der bisherigen  
Brennstoffmenge  $Q_{\text{alt}}$ , einem Korrekturfaktor sowie ggf. einem  
Dämpfungsfaktor  $F_D$  ermittelt. Der Dämpfungsfaktor  $F_D$  wird da-  
bei zwischen 0,1 und 1 in an sich bekannter Weise vorgegeben,  
10 wobei der Dämpfungsfaktor  $F_D$  bei einem kleinen Istwert  
( $P/E$ )<sub>ist</sub>, z.B. kleiner als 10%/90%, des Pausen- zu Einschalt-  
verhältnisses  $P/E$  deutlich kleiner vorgegeben wird als bei  
einem größeren Istwert ( $P/E$ )<sub>ist</sub> des Pausen- zu Einschaltver-  
hältnisses  $P/E$ . Der Dämpfungsfaktor  $F_D$  ändert sich also ana-  
15 log zu der Größe des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $P/E$ ,  
die Dämpfung selbst umgekehrt dazu, so dass immer ausrei-  
chend, bei großen benötigten Änderungen jedoch nicht übermä-  
ßig, gedämpft wird.

20 Der Korrekturfaktor ermittelt sich aus der Summe des Werts  
eins und der Differenz des Sollwerts ( $P/E$ )<sub>soll</sub> und des Ist-  
werts ( $P/E$ )<sub>ist</sub> des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $P/E$ . Die  
neue Menge an Brennstoff ergibt sich in idealer Weise also  
nach Anweisung  $Q_{\text{neu}} = Q_{\text{alt}} * F_D * (1 + ((P/E)_{\text{soll}} - (P/E)_{\text{ist}}))$ .

25 Mit einer derartigen, sehr einfachen Berechnung der neuen  
Brennstoffmenge  $Q_{\text{neu}}$  lässt sich eine sehr effiziente und wie  
sich in Versuchen gezeigt hat praktisch ohne Aufschwingen ar-  
beitende Regelung realisieren.

30 Zusätzlich sollte darauf geachtet werden, dass die Regelung  
der Menge  $Q$  an zugeführtem Brennstoff so ausgebildet wird,  
dass das Pausen- zu Einschaltverhältnis  $P/E$  jeweils möglichst  
klein wird. Insbesondere sollte dieses Pausen- zu Einschalt-  
35 verhältnis  $P/E$  so liegen, dass es in der Größe der Regelge-  
nauigkeit des Gaserzeugungssystems liegt, so dass der Storm,  
welcher in dem Diagramm gemäß Fig. 2 mit 15 bezeichneten Be-

reich zuzuordnen ist trotz sämtlicher Regelabweichungen, die auftreten können, zumindest im zeitlichen Mittel jeweils kleiner oder gleich dem im Betriebspunkt 13 vorliegenden Strom ist. Damit kann verhindert werden, dass überschüssiger Wasserstoff produziert wird, welchen die Brennstoffzelle 2 nicht umsetzen kann. Ein derartiger überschüssiger Wasserstoff müsste, vergleichbar einem bei einem (Über-)Schwingen der Regelung anfallenden Wasserstoffüberschuss über ein Abblasen und ggf. eine Verbrennung oder dergleichen aus dem Brennstoffzellensystem 1 entfernt werden. Ein derartiger, im allgemeinen als Purging bezeichneter Vorgang wäre aber immer mit einem Verlust an Brennstoff und damit auch mit einem Verlust an Energie und demzufolge mit Wirkungsgradeinbußen verbunden.

15

Eine zuverlässig den oben angeführten Gesichtspunkten gehorchende Regelung stellt also sicher, dass, obwohl sämtliche Teile des Systems mit Regelungenauigkeiten behaftet sein können, immer garantiert ist, dass die erzeugte Menge an Brennstoff kleiner oder maximal gleich der Menge an Brennstoff ist, welche in der Brennstoffzelle 2 auch umgesetzt werden kann.

20

DaimlerChrysler AG

Senft

12.12.2002

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Regelung der Brennstoffzufuhr zu einem Brennstoffzellensystem, welches zumindest eine Brennstoffzelle umfasst, wobei die Leistungsentnahme aus der Brennstoffzelle durch Ein- und Ausschalten einer elektrischen Verbindung zwischen der Brennstoffzelle und einem  
10 Verbraucher getaktet erfolgt, und wobei die Verbindung in Abhängigkeit des in der Brennstoffzelle vorhandenen Brennstoffs getaktet wird,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Menge (Q) an Brennstoff in Abhängigkeit eines  
15 Pausen- zu Einschaltverhältnis (P/E) der getakteten Verbindung (6) der Brennstoffzelle (2) mit dem Verbraucher (3) in der Art geregelt wird, dass sich ausgehend von einem Istwert ( $(P/E)_{ist}$ ) des Pausen- zu Einschaltverhältnisses (P/E) ein vorgegebener Sollwert ( $(P/E)_{soll}$ ) des Pausen- zu Einschaltverhältnisses (P/E) einstellt.  
20
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass das vorgegebene Pausen- zu Einschaltverhältnis  
25 (Sollwert  $(P/E)_{soll}$ ) möglichst klein gewählt wird, insbesondere in der Größenordnung unter  $P/E = 10\%/90\%$ .
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
30 dass die geregelte Menge (Q) an Brennstoff einem Gaserzeugungs- system (4) zugeführt wird, in welchem ein wasser-



stoffhaltiges Gas zum Betreiben der Brennstoffzelle (2) erzeugt wird.

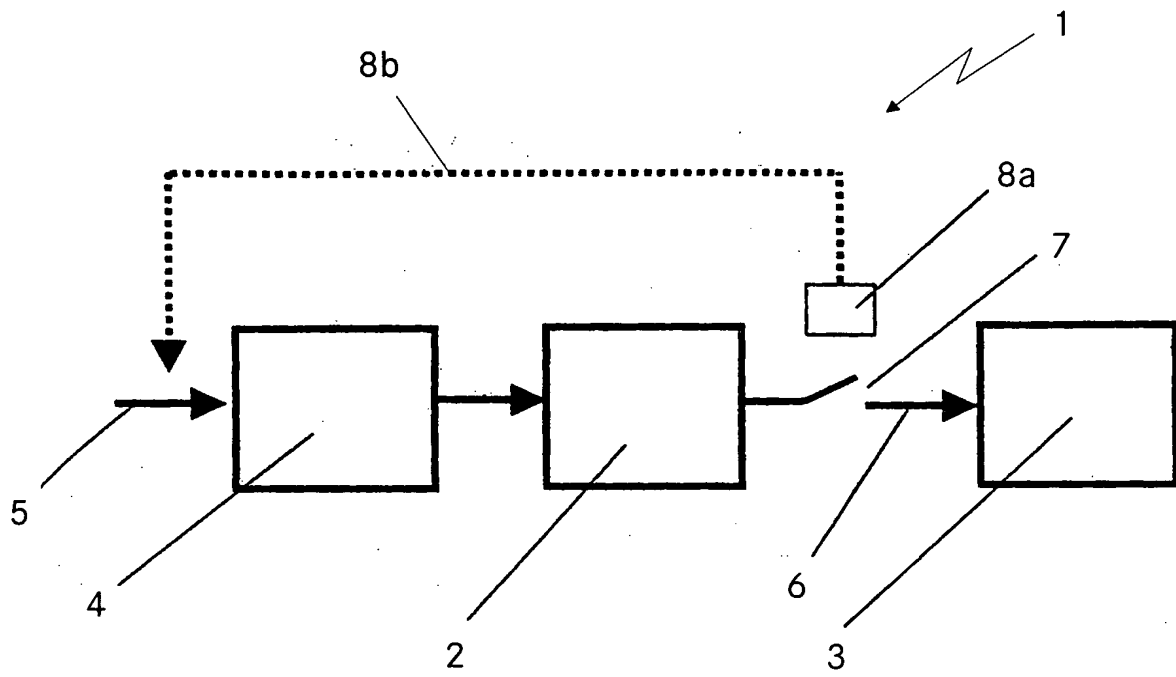
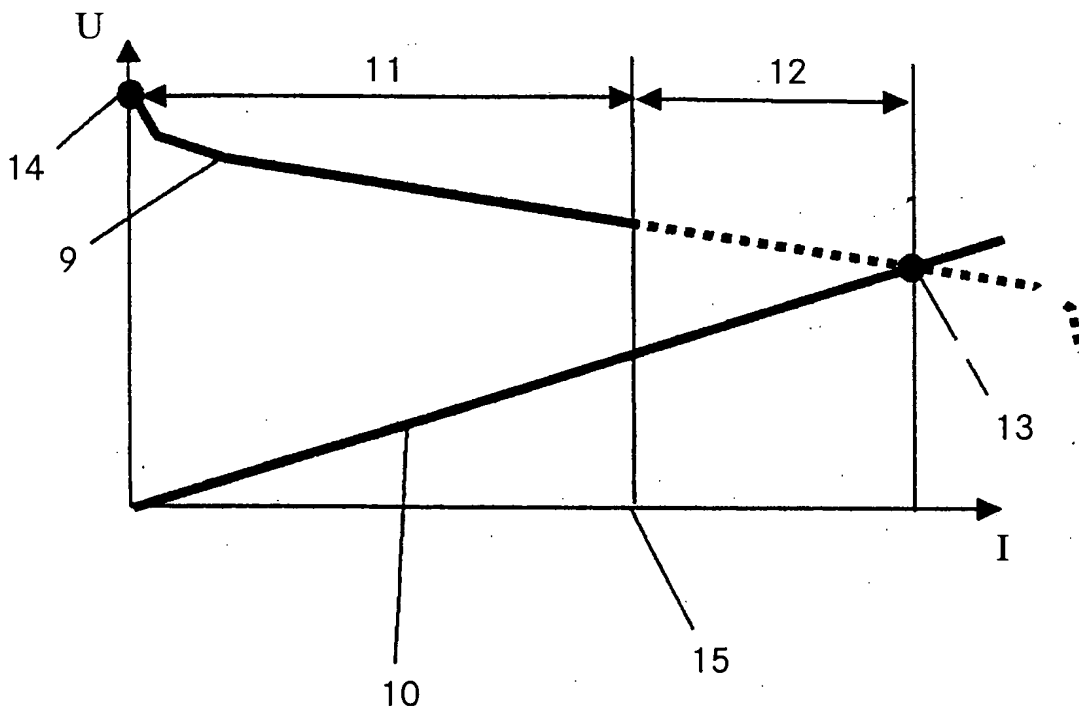
4. Verfahren nach Anspruch 3,  
5     d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass das vorgegebene Pausen- zu Einschaltverhältnis  
(Sollwert  $(P/E)_{\text{soll}}$ ) möglichst klein gewählt wird, insbe-  
sondere in der Größenordnung der Regelgenauigkeit des  
Gaserzeugungssystems (4).
- 10     5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Menge (Q) an zugeführtem Brennstoff so gewählt  
wird, dass die der Brennstoffzelle (2) angebotene Menge  
15     an Brennstoff oder an aus dem Brennstoff erzeugtem was-  
serstoffhaltigem Gas immer kleiner ist, als die Menge an  
Brennstoff oder an aus dem Brennstoff erzeugtem wasser-  
stoffhaltigem Gas, welche von der Brennstoffzelle (2) um-  
gesetzt werden kann.
- 20     6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass zur Regelung der Menge (Q) an zugeführtem Brennstoff  
eine PID-Regelung eingesetzt wird.
- 25     7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Regelung der Menge (Q) an zugeführtem Brennstoff  
so erfolgt, dass sich eine neue Brennstoffmenge ( $Q_{\text{neu}}$ ) zu-  
30     mindest aus dem Produkt der bisherigen Brennstoffmenge  
( $Q_{\text{alt}}$ ) und einem Korrekturfaktor ermittelt, wobei der Kor-  
rekturfaktor zumindest die Sollwerte ( $(P/E)_{\text{soll}}$ ) und Ist-  
werte ( $(P/E)_{\text{ist}}$ ) des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  
(P/E) enthält.
- 35     8. Verfahren nach Anspruch 7,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,

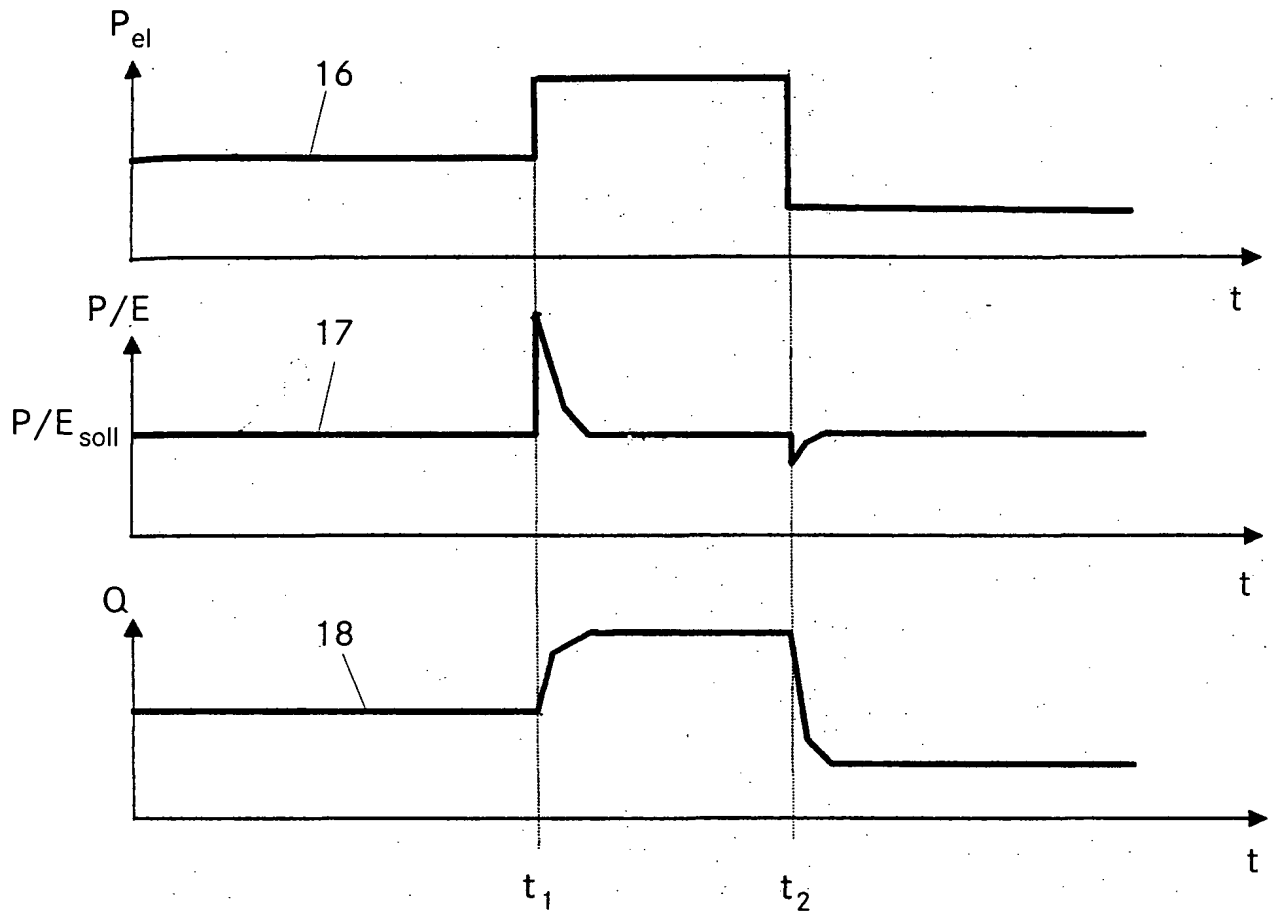
dass der Korrekturfaktor sich aus der Summe des Werts eins und der Differenz des Sollwerts  $((P/E)_{\text{soll}})$  und des Istwerts  $((P/E)_{\text{ist}})$  des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $(P/E)$  ergibt.

5

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8,  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass das Produkt ausserdem noch einen Dämpfungsfaktor  $(F_D)$  enthält, welcher zwischen 0,1 und 1 vorgegeben wird,  
10 wobei der Dämpfungsfaktor  $(F_D)$  bei kleinem Istwert  $((P/E)_{\text{ist}})$  des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $(P/E)$  kleiner vorgegeben wird, als bei größerem Istwert  $((P/E)_{\text{ist}})$  des Pausen- zu Einschaltverhältnisses  $(P/E)$ .

- 15 10. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 in einem mobilen Brennstoffzellensystem (1), insbesondere in einem Kraftfahrzeug.

Fig. 1Fig. 2

Fig. 3

DaimlerChrysler AG

Senft

12.12.2002

Zusammenfassung

- 5 Ein Verfahren dient zur Regelung der Brennstoffzufuhr zu einem Brennstoffzellensystem, welches zumindest eine Brennstoffzelle umfasst. Die Leistungsentnahme aus der Brennstoffzelle wird durch Ein- und Ausschalten einer elektrischen Verbindung zwischen der Brennstoffzelle und einem Verbraucher in
- 10 Abhängigkeit des in der Brennstoffzelle vorhandenen Brennstoffs getaktet.
- Erfindungsgemäß wird die Menge an Brennstoff in Abhängigkeit eines Pausen- zu Einschaltverhältnis der getakteten Verbindung der Brennstoffzelle mit dem Verbraucher in der Art geregelt,
- 15 dass sich ausgehend von einem Istwert des Pausen- zu Einschaltverhältnisses ein vorgegebener Sollwert des Pausen- zu Einschaltverhältnisses einstellt.